

自作によるスリットと

回折格子による回折縞の研究

金沢大学教育学部付属高等学校

板 屋 源 清

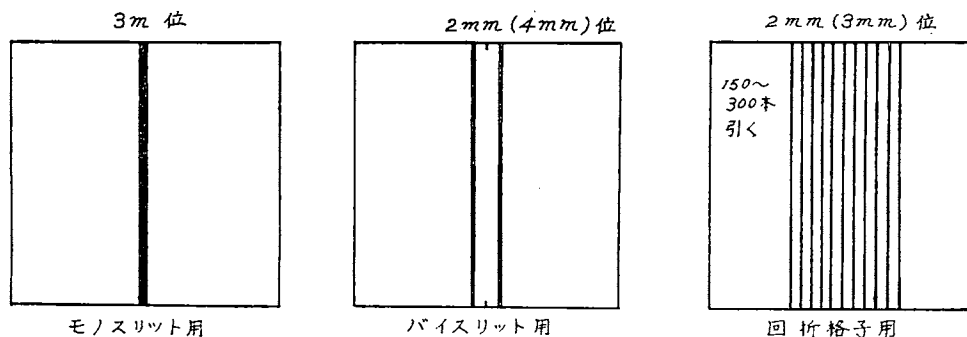
1 は じ め に

昨年は回転式ストロボ装置を基本とし、自然落下、等速直線運動、等速円運動等力学の基本になる諸運動を撮影する装置——これらの装置をブラックセットと生徒によばれた——を自作し、さらに波動装置をつくり波動に関する諸現象を撮影し学習展開を容易にし水波から光波えの概念を把握すべく努力した。しかし光は波であるが、また水波とは異なる要素をもっている。水波と似た点、異なる点を明らかにするためには光波による諸現象を明らかにする必要がある、そのために、次の5段階に分けて仕事をすすめることにした。

- a 諸種の巾のモノスリットをつくる。
- b 諸種の巾のバイスリットをつくる。
- c 回折格子をつくる。
- d 暗箱装置をつくる。
- e モノスリット、バイスリット、回折格子をつかって写真をとる。
- f スリット巾と干渉縞の関係を調べる。

2 モノスリット、バイスリット、回折格子の製作法

これらをつくるにはカラス口を使って線を引くように発表されているが、カラス口ではモノスリット、バイスリットをつくる時に引く1～2本の線ならばさしつかえないが、特に回折格子を作るには150～300本の平行線を引く必要があるので、素人にはむづかしい。また製図工も断わる仕事である。私は市販のペンテルペンを数本用意して、これを用いることにした。このペンでは、巾1～3mmの線がひける。製図用紙、またはケント紙に次の図のように目的に応じて線を引く。



これらの紙を壁に張り、左右45度方向から、ブラックセットで作った光源装置で照し、ミニコピーフィルムを使い、距離をかえて撮影する。その時露出計で示される目盛より絞り1目盛開く。コピナールで現象する。

○ スリット巾の決定方法

A 縮 尺 法

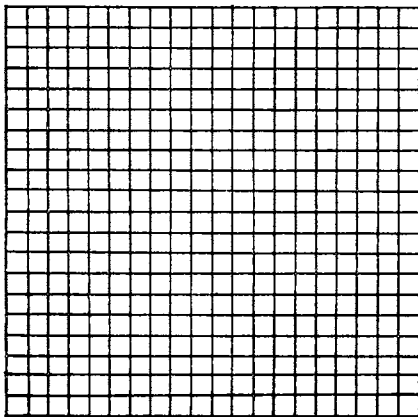
スリット用の紙に30cm位の巾の印をつけネガの印の間を測定し、その縮尺からスリット巾を決定するか、ネガを幻灯機で拡大し、印間の巾とスリットの巾を測定し、その割合からスリット巾をきめる。この方法であると有効数字は1桁である。

B ミクロメーター法

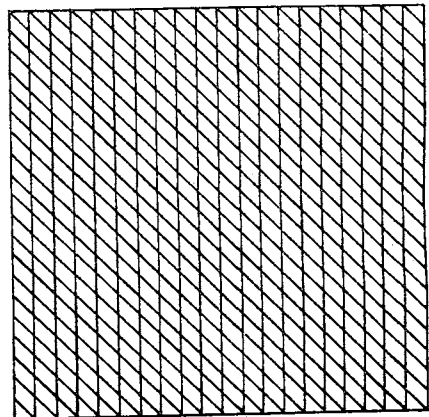
顕微鏡にマイクロメーターを入れ、スリット巾を測定する。これによると有効数値は2～3桁である。しかしスリット巾が小さくなると、光が弱くなって判定し難い。私はこの方法によった。これによると回折格子の格子常数も測定でき、分光計で測定した結果と比較できる。

3 回折格子と直交回折格子、斜交回折格子の考察

回折格子を平行に2枚重ねて目にあて、ローソク、または白熱電灯を見ながら一枚を回転すると、きれいな回折縞が順次変化して行くのが見られる。この現象はラウエスポットの理解への橋渡しをするものである。私は2枚を直交、または斜交させた状態のものを、それぞれ1枚にすることを考えついた。そして直交しているものを直交回折格子、斜交しているものを斜交回折格子と呼び従来の回折格子を平行回折格子と名付けることにした。



直交回折格子用



斜交回折格子用

作り方は上図のように、直交する平行線を引いたもの、45度に傾けて平行に引いたものを作り、ミニコピーフィルムで、やや露出過度に撮影すればよい。このようにして作った直交、斜交それに平行回折格子を望遠レンズの前に取りつけ、撮影したのが、カラー印刷になっている。また平行回折格子によるD線によるスリットによる回折干渉縞もカラー印刷になっている。

4 回折格子の学習効果

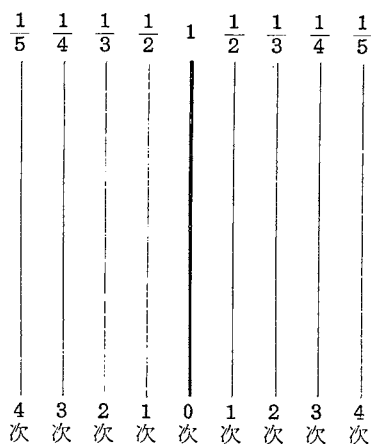
一昨年は平行回折格子の理論のみを教え、実験はしなかった。その結果スペクトルの次数すらはつきり理解できないし、理論そのものを疑う生徒も多かった。昨年は丁度、平行回折格子、直交回折格子、斜交回折格子の試作品が出来たとき教材の進捗と一致した。授業の初めに平行回折格子を1枚ずつ渡し、白熱電灯をのぞかせながら理論を展開した。0次、一次、二次等のスペクトルの説明は全く容易であるし、授業がいきいきとして来た。

そして次の質問が出た。

- 平行回折格子による各次のスペクトルの明るさはどのようなになるか。
- 単色光による理論だとスペクトル間隔は等距離になるが、単色光でない、白熱電灯の光だと高次のスペクトルは重り合うのは何故であるか。

つぎに直交、斜交回折格子を渡して白熱電灯を観察させると、しばらくはその美しさに見とれるのであるが、やがて何故このように見えるのか疑問をいだくのである。

私はこれらの疑問に対しては完全に答えられない。直交回折格を例にとり若干のヒントを与えることにした。平行回折格子の明るさの比を次のイ図のように勝手に与えて考えさせた。



イ 平行回折格子によるスペクトルの明るさの比

	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
$\frac{1}{5}$									
$\frac{1}{4}$									
$\frac{1}{3}$		0.50	0.58	0.75	1.25	0.75	0.58	0.50	
$\frac{1}{2}$		0.58	0.66	0.83	1.30	0.83	0.66	0.58	
1		1.25	1.30	1.00	1.50	1.00	0.80	0.75	
$\frac{1}{2}$		1.25	1.30	1.50	2.00	1.50	1.30	1.25	
$\frac{1}{3}$		0.75	0.80	1.00	1.50	1.00	0.80	0.75	
$\frac{1}{4}$		0.58	0.66	0.83	1.30	0.83	0.66	0.58	
$\frac{1}{5}$		0.50	0.58	0.75	1.25	0.75	0.58	0.50	

ロ 直交回折格子による明るさの比

平行回折格子を2枚重ね合わせたものとして直交、斜交回折格子が考えられるからである。ロ図はイ図で与えられた平行回折格子によるスペクトルの明るさの比をもとにして直交回折格子による像の明るさの比を示している。直交回折格子による回折縞のカラー写真と比較することによって、光が弱くて撮影できない像の位置も想像することができる。

高次のスペクトルが重り合うことについては平行回折格子の式

$$d \sin \varphi = m\lambda \cdots \cdots (1) \quad \text{で } \varphi \sim 0 \text{ と見なせる範囲では}$$

$$d \cdot \varphi = m\lambda \cdots \cdots (2) \quad \text{となる。}$$

この式で一次の紫色及び赤色の回折角をそれぞれ φ_{1V} , φ_{1R} , 波長を λ_V , λ_R とすれば

$$\varphi_{1V} = \frac{1}{d} \lambda_V \cdots \cdots (3)$$

$$\varphi_{1R} = \frac{1}{d} \lambda_R \dots\dots\dots(4)$$

同様にして二次三次のスペクトルについては

$$\varphi_{2V} = \frac{2}{d} \lambda_V \dots\dots\dots(5)$$

$$\varphi_{2R} = \frac{2}{d} \lambda_R \dots\dots\dots(6)$$

$$\varphi_{3V} = \frac{3}{d} \lambda_V \dots\dots\dots(7)$$

$$d_{3R} = \frac{3}{d} \lambda_R \dots\dots\dots(8)$$

ここに $\lambda_V = 3 \times 10^{-5} \text{cm/c}$ $\lambda_R = 8 \times 10^{-5} \text{cm/c}$ として回折角を考えることにしている。この式から重り合いが理解でき、また連続スペクトルの内側が青色で外側が赤色になることも判然とする。

5 暗箱装置と回折干渉縞の写真

モノスリット、バイスリットを使って回折干渉縞の写真を撮るために暗箱を設計し、家具屋で製作して貰った。(写真イ、ロ参照)

A 暗箱装置の説明

光源……マスター幻灯機。

フィルターは49mmを使用すればレンズの前面にそのまま装着できる。

前面……幻灯機の光が後部に来ないようにするため広くしてある。光量制限用スリットがつく。

内部……モノスリットまたはバイスリットを装着した板が、距離を変えられるように平行な「みぞ」がある。

後部……スリガラスが、スクリーンとして入る。写真をとる時にはとりはずす。肉眼観察をする場合スリガラス上の像をみるより一眼レフカメラのレンズをはづしてファインダーよりのぞいた方がはっきりする。

B 回折干渉縞の写真

モノスリット巾と干渉縞の関係、バイスリット巾と干渉縞、縞の関係を調らべるために次の条件を一定にした。

- a フィルム面とモノスリット、バイスリット間の距離……59.5cm
- b 光量制限用スリットとモノスリット、バイスリット間の距離……37cm
- c 光源……マスター幻灯機
- d フィルター……R-2 (Toshiba) (Jis60)
- e フィルム……ネオパンSS
- f 露出…… $\frac{1}{2}$ sec ~ 5 sec

上の条件の下に撮影した写真は、写真版ハとニに3例を示してある。定性的な結果を示すと次の通りであると考えられる。

- a モノスリット巾が減少するに従って干渉縞は太くなる。

- b バイスリットはスリット間隔が一定でないために結論を下すのはむづかしい。しかしスリット巾が小さくなるにしたがって、モノスリット（バイスリットはモノスリットが2個並んでいる）による回折縞が消失してくる。

C 毛髪、針金、カミソリの刃による回折干渉写真

モノスリット、バイスリットのかわりに毛髪、針金、またはカミソリの刃を置くのであるが、この場合カメラの直前に置く必要がある。露出は $\frac{1}{60}$ sec \sim $\frac{1}{250}$ sec である。

D 教材への応用

バイスリットで得たネガを密着焼きにする。暗い縞の間隔 Δx をたくさんの縞の端から端までノギスで測ることによって平均の Δx が求まる。いま

d . . . バイスリット間隔

L . . . フィルムとバイスリットの距離

λ . . . 光の波長

とすれば

$$\lambda = \left(\frac{d}{L} \right) \Delta x \quad \text{となり波長が求まることになる。}$$

例

$$10\Delta x = 2.20\text{cm} \quad \therefore \Delta x = 0.220\text{cm}$$

$$L = 59.0\text{cm}$$

$$d = 0.01859\text{cm} \quad \text{を上式に代入}$$

$$\begin{aligned} \lambda_R &= \left(\frac{0.01859}{59.0} \right) \times 0.220 = 6.86 \times 10^{-5} \text{cm/c} \\ &= 6.86 \times 10^{-7} \text{m/c} \end{aligned}$$

6 む す び

光波による回折干渉縞の定性的な面はこれで大体つきていると考えるが、さらに定量的な結果を求めてみるつもりである。これらの干渉回折縞の写真は一応カラスライドになっていて、教材の展開に用いることになっている。これらの写真をとるために本校理科教諭の備品援助と金沢大学教育学部教授山本弥一郎先生から助言を戴いた。そして多数の生徒の協力を得たことを喜んでいる。

物理生徒実験の指導と反省

金沢大学教育学部付属高等学校

板 屋 源 清

1 は じ め に

物理の学習は生徒自身が、器械、器具を操作し、実験することによって、創意工夫の精神が養われ、また実験方法を体得するものである。しかし生徒実験は重要であると痛感しながら次の原因によって実施が困難であった。

- a 実験方法のプリント，器械，器具の準備に莫大な時間がかかる。
- b 学校行事その他で進度が揃わない。
- c 費用がかかりすぎる。etc.

2 生徒実験書の作成

私は生徒実験を容易に実施できるようにするために、本校独自の実験書を作成し、これに従って生徒実験を推進することにした。実験書の内容として次のようにきめた。

- 1 物理の学習展開に必要な自作の写真を収めること。
- 2 実験題目——下記のようにきめた。

イ 基礎実験

- A 長さの測定
- B 質量の測定
- C 比重の測定
- D 薄い凸レンズの焦点距離測定
- E Borda の振り子による重力加速度の測定

ロ グループ実験

- 1 ばねの弾性定数とばね振り子の周期の測定
- 2 気柱の共鳴による音さの振動数の測定
- 3 光のてこによる薄板の厚さの測定
- 4 回折格子の製作と回折格子の定数の測定
- 5 Wheatstone Bridge による電気抵抗の測定
- 6 電流による熱の仕事当量の測定
- 7 電流の起電力と内部抵抗の測定
- 8 白熱電球の抵抗と端子電圧の測定
- 9 交流の周波数測定
- 10 交流の回路の抵抗の測定

ハ 特 別 実 験

I ブラックセットによる運動に関する実験

II 波動装置による波動現象に関する実験

生徒実験の題目を選ぶに当たって次の点に留意した。

- a 基礎的な実験であること
- b 学校の設備を考える
- c 1時間で出来ること
- d 破損し難い器械，器具を使う
- e 教師自作の器具を使う実験を入れること

上記の観点にたつて10組揃えられるものを基礎実験として5題目，1組しかない設備をグループ実験として10題目，それに特別実験として私の作った装置によるもの2题目的の合計17題目を生徒実験題目とした。

3 生徒実験指導と反省

本年は2年が必修で3組3年生が選択で2組ある。生徒実験書にしたがった指導は7月末現在次の通りである。

2年……基礎実験(6月6日～6月24日)

3年……基礎実験(6月5日～6月12日)

グループ実験(7月1日～7月19日)

はじめの計画では各実験1時間の予定であったけれども，基礎実験の間は実験になれていないためか実験時間が不足になりがちであった。そのため放課後に来て実験する者も多かった。グループ実験では10組とも実験題目が異なるために，最初の時間は各テーブルからの質問に忙殺されて，ついに2時間かけることにした。しかしその後は1時間で測定はおおよそ片付くようになった。各実験について気付いた点をのべる。

X 基 礎 実 験

○ 実 験 A，長さの測定

副尺の読み方になれる。微小な厚さの測定方法に問題を持たせ，光のてこ，干渉えの伏線である。ノギス，マイクロメーターが2人に1個ずつあれば能率的である。

○ 実 験 B，質量の測定

感量 100 mg の物理天科では振動法による測定は必要でないかも知れないが，なれるために行った。 $M = M_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \Delta m$ として $M = M_0 + \frac{S_1 \sim S_0}{S_1 \sim S_2} \Delta m$ としなかったのは初歩の段階であるので実験書のように統一した。

○ 実 験 C，比重の測定

時間がかかる。水の比重 $\rho_t = 1.00$ として計算させた。

○ 実 験 D，薄い凸レンズの焦点距離測定

生徒実験書の3，レンズ L を適当な位置におき，ついたて上に十字の像を結ばせ，像の中央に×印をつける。4，レンズ L とついたて B を動かしふたたび像を結ばせ，像の中央が×印と一致するようにレンズの高さ光源の高さを調節する，と書いたが，生徒用光学台ではむづかしい。そのため大体一致する点にとどめた。

○ 実験E, Borda の振り子による重力加速度の測定

指導要領では慣性率をはぶいてあるが本校に 10 組の Borda の振り子があるので単振り子と比較させるために基礎実験に入れた。

この実験で Borda の振り子は二社から納入されているが、刃型の周期と振り子の周期と一致させようとするとき糸の長さが 10~15cm 位にしなければならないのがあって、そのメーカーに苦情を申し込んだ。

× グループ実験

○ 実験1, ばねの弾性定数とばね振り子の周期の測定

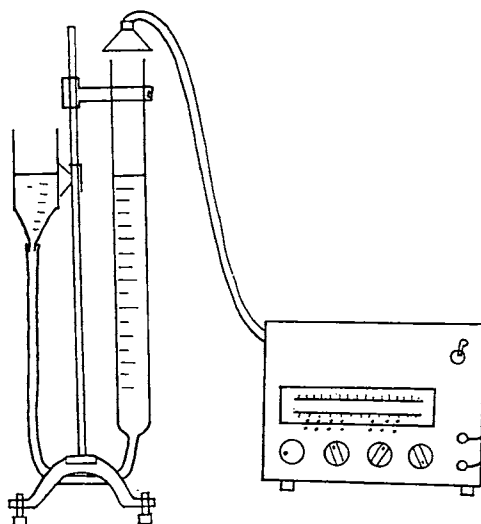
ばねは直径 0.2~0.5mm のピアノ線を、丸い棒にまきつけて自作することにした。実測の周期 T と理論値の周期 T_0 の誤差 100 分率は 5 % 以内におさまった。

○ 実験2, 気柱の共鳴による音さの振動数の測定

実験書の装置は共鳴音は小さく、グループ実験中は周囲がさわがしく共鳴点の判定困難なため、市販の気柱共鳴装置を利用することにした。

予備実験として低周波発振器をラジオにつなぎ周波数を順次変化すると共に音さを鳴らし、うなりのなくなる点を見出すと音さの大体の振動数が判明する。(370c/sec) それから気柱の共鳴装置を利用すればくわしい音の振動数がわかる。(373c/sec)

また低周波発振器にインピーダンス 8 Ω 位の小型スピーカーを直接つなぎ、気柱の空気柱を一定に保持し、周波数を変化することによって共鳴周波数を見出し、発振器の目盛を正すこともできる。



○ 実験3, 光のてこによる薄板の厚さの測定

望遠鏡の視野内に尺度を見出すのに相当時間がかかると予想していたが、生徒達は非常に早く調節した。アルミ箔の厚さはマイクロメーターでは 2.1×10^{-3} cm 程度であるが光のてこの方法では 1.7×10^{-3} cm 程度となる。

○ 実験4, 回折格子の製作と回折格子の定数の測定

この実験は副尺の読み方に時間がかかる。本尺の 29 目盛を 30 等分してあるが、虫めがねでのぞいても本尺と副尺の目盛の一致点を見出すのに時間がかかる。それは数箇所では一致しているように見えるからである。

回折格子は自作の回折格子を使用した。 $\theta_1 = 33'$ $\theta_2 = 64'$ $n = 161$ 本/cm

$d = 6.21 \times 10^{-3}$ cm/本 となる。またマイクロメーターで測定すると

$d = 6.25 \times 10^{-3}$ cm/本 となる。

○ 実験5, Wheastone Bridge による電気抵抗の測定

使用法に時間がかかる。約 1 m, 直径 0.5mm のピアノ線の比抵抗は $2.14 \times 10^{-5} \Omega$ cm となる。

○ 実験6, 電流による熱の仕事当量の測定かくはん棒は F_e として求めさせた。

$J = 4.38 \frac{J_{ohle}}{cal}$ 程度となった。

○ 実験 7, 電池の起電力と内部抵抗の測定

平五と平三について実験したのであるが、電流計は 500MA の端子のあるもの、精密電圧計それにスライド抵抗器は平三の場合は 130Ω より小さいのが必要である。

○ 実験 8, 白熱電球の抵抗と端子電圧の測定

グループ実験中もっとも容易である。V—I, V—R 曲線は放物線のような曲線になる。

○ 実験 9, 交流の周波数測定

装置は自作のものである。実験結果も 59~61c/sec の範囲内に全部おさまった。

○ 実験 10, 交流回路の抵抗の測定

この実験は生徒にとっては聞きなれない、インピーダンス、リアクタンス等の単語が出る。そのために交流の勉強をはじめる生徒があらわれた。学習の動機を喚起させるためにまことに都合のよい実験である。

特別実験はデモンストレーションとして行なうのであり、さらに 8 mm 映画におさめてあるので、映写しながら説明する。実験書の写真は授業の展開に使用する。

4 む す び

はじめて生徒実験書をつくり、一応を実施したが、実験のあるものは既習の知習の確認となり、その他のものは将来の学習の準備段階となるものである。実験書はミสปリントが目立つけれどもこれは学習の展開にききだち訂正した。実験方法の未熟な点は将来改めるつもりである。御叱正下さることをお願いしたい。なお本実験書作成については、主に次の実験書を参考にさせて戴いた。

第一学習社	カード式物理実験書
タムラ書店	物理実験ノート
地人書館	物理実験レポート

目 次

基 礎 実 験

A 長さの測定	1
B 質量の測定	3
C 比重の測定	5
D 薄い凸レンズの焦点距離測定	7
E Borda の振り子による重力加速度の測定	9

グループ 実 験

1 ばねの弾性定数とばね振り子の周期の測定	11
2 気柱の共鳴による音さの振動数の測定	13
3 光のてこによる薄板の厚さの測定	15
4 回折格子の製作と回折格子の定数の測定	17
5 Wheatstone Bridge による電気抵抗の測定	19
6 電流による熱の仕事当量の測定	21
7 電池の起電力と内部抵抗の測定	23
8 白熱電球の抵抗と端子電圧の測定	25
9 交流の周波数測定	27
10 交流回路の抵抗の測定	29

特 別 実 験

I ブラックセットによる運動に関する実験	31
II 波動装置による波動現象に関する実験	33

実 験 上 の 注 意

- 1 実験書をよく読み、実験の内容をよく理解する。
- 2 器具の取扱いを実物を見てよく理解する。
- 3 細心の注意をはらい、綿密な観察をし、測定値をそのまま記入する。
- 4 測定値を整理し、思わない結果が得られたならば、測定をやりなおしてみる。測定値はわざと変えたりしない。
- 5 実験をさらに上手にする方法を見出すよう装置を考案しよう。
- 6 実験終了後は器械器具を調べ、整頓しておく。
- 7 実験書は整理し、つねに提出できるようにしておく。

1963

金沢大学教育学部付属高等学校

板 屋 源 清

実験A 長さの測定

目的

ノギス、マイクロメーターの使用法を理解する。副尺の使い方を理解する。

準備

ノギス (1), マイクロメーター (1), 円柱 (1), 針金

実験

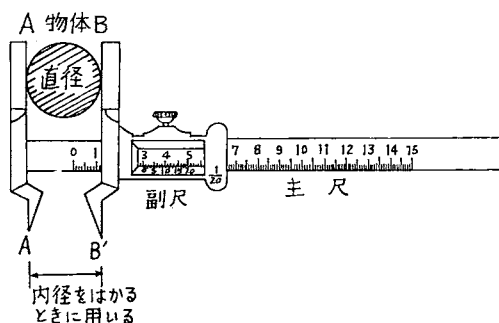
【I】ノギスを用いて円柱の直径、および長さをはかりその体積を計算する。

- 1 何もはさまないで両脚を密着させ、その時の副尺の読みをとり、零点の狂いを測定する。
- 2 内径を測定する時は1図のA' B'部分の外側を円柱の内側に軽く接触さる。外径および長さを測定する時はAB間に試料を軽くはさむ。そして、それぞれの場合の主尺の目盛 a と、主尺と副尺の目盛がもっともよく一致する目盛 b とを読みとれ。

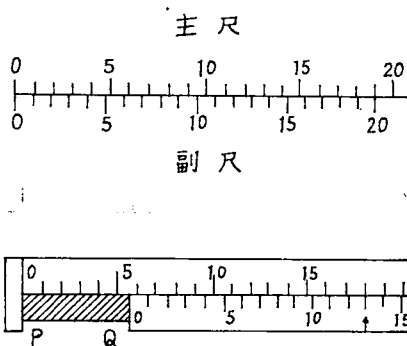
・図の主尺と書いたのが、普通のものさしで、副尺は主尺にそって移動することができる。副尺には、主尺の $(n-1)$ 目盛を n 等分した目盛がきざんであり、主尺の1目盛の $\frac{1}{n}$ まで、目分量にたよらず、副尺で読みとることができる。ノギスでは普通19目盛を20等分した目盛が副尺にきざまれている。

【II】マイクロメーターを用いて針金の直径を測定する。

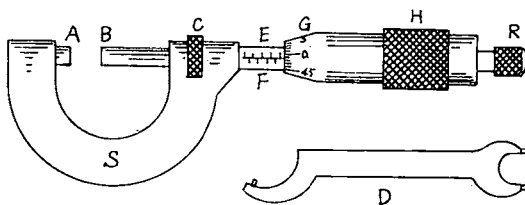
- 1 試料をはさまないで、ラチエットRをまわし、A、Bを密着させて、その時の副尺の読みを読む。
 - 2 S部を左手に持ち、試料をABの間にはさみ、右手でラチエットRをまわし、AB間をせばめて行き、Rがからまわりするようになったら、回転を止め目盛を読む。
- ・外円柱Gが一回転すると、外円柱の先端が内円柱に刻んだ一目盛だけ移動する。内円柱の一目盛は0.5mm外円柱の目盛は一周を50等分してあるから一目盛は0.01mmになる。



1 図



2 図



3 図

測定値と整理

【I】ノスギによる円柱の体積

回	零 (0) 点	直 径 ($a_1 + b_1$)	長 ($a_2 + b_2$) さ	($a_1 + b_1$) - (0)	($a_2 + b_2$) - (0)	体 積
1						
2						
3						
4						
5						
平均値						

【II】マイクロメーターによる針金の直径

回	零 点	直 径	仮直径	差
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
平 均				

仮直径と差の平均との和：

零点の平均：

求める直径 -) _____

・円柱の直径、長さを普通の物指で測定した場合とノスギで測定した場合とマイクロメーターで測定したときの相違点を考えよ。

・フオルタンの気圧計の副尺は本尺19mmを10等分したものがついている。測定し得る最小単位を考えよ。

・分光計の本尺は最小目盛0.5°で、その29目盛を30等分した副尺がついている。測定し得る最小単位を考えよ。

・スズ箔一枚の厚さはどうしたら測定できるであろうか。

月	日	天候	°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 B 質 量 の 測 定

目 的

物理てんびんの使用法を理解する。

準 備

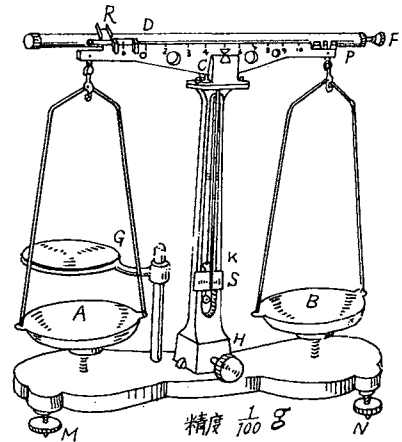
物理てんびん (1), 円柱 (1)

実 験

物理てんびんにより円柱の質量を測定する。

- ねじ M, N を調整して支柱のうしろにつるした糸が、輪の中心にくるようにして、物理てんびんの支柱を鉛直にする。
- ライダー R を 0 の目盛にあわせて、クランク H をまわし、腕を自由にしたとき、指針が目盛板の中央を中心にしてふれるように調整ねじ P で調整する。クランク H をまわして指針をとめる。
- クランク H をもどすと、指針 K が目盛 S 上を動く。このとき目盛は中央を 10 としつぎのように左の読み 3 回の平均と、右の読み 2 回の平均を求めさらにその平均をとって零点 S_0 を決定する。

左	右	
7.0	14.5	
7.5	14.1	
8.1		
7.53	14.30	$\therefore S_0 = 10.92$

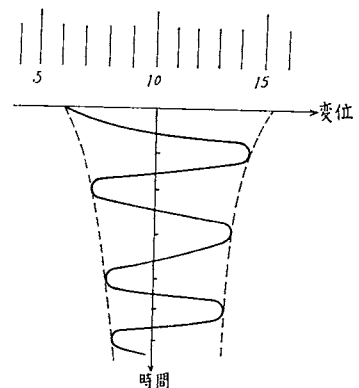


1 図

- 物体を左の皿に、分銅を右の皿に載せ分銅の値 M_0 は物体の質量 M よりやや小にして、静止点 S_1 を決定する。
- つぎに分銅の質量 M_0 にライダーを動かし Δm を加え、分銅の質量を M_0 は物体の質量 $M_0 + \Delta m$ とする。このときの静止点を S_2 と決定する。
- このとき物体の質量 M は次の式であらわされる。

$$M = M_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m$$

- クランク H をまわして指針を固定し、物体を皿から下ろし、分銅をピンセットで箱におさめる。



2 図

測定値と整理

M の測定

	S ₀		S ₁		S ₂	
	左	右	左	右	左	右
振動の読み						
平均						

$$M_0 =$$

$$\Delta m =$$

$$S_1 - S_0 =$$

$$S_1 - S_2 =$$

$$\frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} =$$

$$\therefore M = M_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m =$$

- 同一物体をぜんまい秤で測定してみよ。

- この物体を上記天秤で 100mg 単位で出すにはどうすればよいか。

- 上記測定方法で改良すべき点はないか。

- この物体の密度を求めてみよ。

月	日	天候	°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 C 比 重 の 測 定

目 的

アルキメデスの原理を利用し、固体の比重を測定する。

準 備

物理てんびん (1), 円柱 (1), 木片 (1), ビーカー (1), 温度計 (1), 糸

実 験

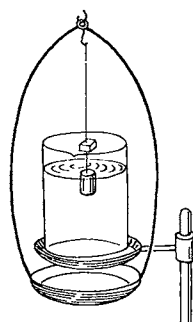
【I】水より重い水に溶けない固体の比重

- 1 ビーカーに水を入れ水の温度 t を測定しこのときの水の比重 ρ_t を表から読みとる。
- 2 物理てんびんを調整し、円柱を糸でつるし、ビーカーの水に完全に沈めて、そのときの重さ W' を測定する。
・円柱の重さとして実験 2 で求めた質量 M を重さ W として使用する。
- 3 求める比重 ρ は次の式となる。

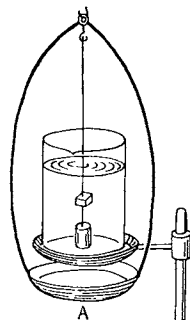
$$\rho = \frac{W}{W - W'} \times \rho_t$$

【II】水より軽く水に溶けない固体の比重

- 1 木片の空気中の重さ W_1 を測定する。
- 2 木片の下におもりをつるし、おもりだけをビーカーの水の中に沈め、その重さ W_2 を測定する。
- 3 木片、おもりをすべて水中に沈め、その重さ W_3 を測定する。
- 4 木片の浮力 $W_2 - W_3$ を求めて比重を決定する。



1 図



2 図

測 定 値 と 整 理

【I】水より重い水に溶けない固体の比重

実験 2 で求めた円柱の重さ $W =$

円柱の水中での重さ W' の測定

		S ₀		S ₁		S ₂	
振動の読み	左	右	左	右	左	右	
平	均						

$$\begin{aligned}
 W_0 &= & \Delta m &= \\
 S_1 - S_0 &= & S_1 - S_2 &= \\
 \therefore W' &= W_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m = & \text{水の } t^\circ\text{C} \text{ における比重 } \rho_t &= \\
 \text{比重} &= \frac{W}{W - W'} \times \rho_t =
 \end{aligned}$$

【II】 水より軽く水に溶けない固体の比重

木片の空気中の重さ W_1 の測定

	S_0		S_1		S_2	
	左	右	左	右	左	右
振動の読み						
平 均						

$W_0 =$

$S_1 - S_0 =$

$\Delta m =$

$S_1 - S_2 =$

$\frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} =$

$W_1 = W_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m =$

W_2 の 測 定

	S_0		S_1		S_2	
	左	右	左	右	左	右
平 均						

$W_0 =$

$S_1 - S_0 =$

$\Delta m =$

$S_1 - S_2 =$

$\frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} =$

$W_2 = W_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m =$

W_3 の 測 定

	S_0		S_1		S_2	
	左	右	左	右	左	右
平 均						

$W_0 =$

$S_1 - S_0 =$

$\Delta m =$

$\frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} =$

$W_3 = W_0 + \frac{S_1 - S_0}{S_1 - S_2} \cdot \Delta m =$

月 日 天候

°C

mmHg

%

年	組	番	グループ	氏名
---	---	---	------	----

実験 D 薄い凸レンズの焦点距離測定

目 的

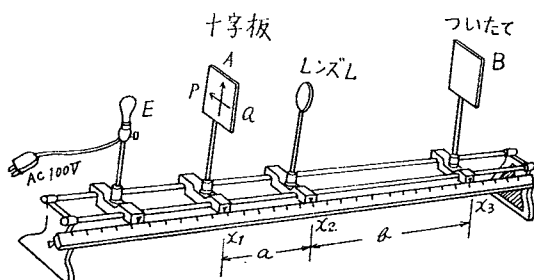
薄い凸レンズの焦点距離を測定する。物体と像の位置関係、像の種類、倍率を知る。

準 備

尺度付光学台 (1), コード付電球ソケットと電球 (1), 十字板 (1), レンズ挟み (1), ついたて (1), 凸レンズ (1), ものさし (1)

実 験

- 1 電球 E を A.C 100V につなぐ。
 - 2 十字板 A の水平部分の矢印の長さ PQ をものさしで測定する。
 - 3 レンズ L を適当な位置におき、ついたて B 上に十字の像を結ばせ、像の中央に × 印をつける。
 - 4 レンズ L とついたて B を動かし、ふたたび像を結ばせ、像の中央が × 印と一致するように、レンズの高さ、光源の高さを調節する。
 - 5 十字板 A を光源 E の近く、目盛 x_1 の読みやすいところに置く。
 - 6 ついたて B を十字板 A よりなるべく遠く離し、レンズ L をついたて B より次第に遠ざける。はじめは明瞭な倒立実像がうつったときのレンズ L の位置 x_2 、ついたて B の位置 x_3 を読む。
 - 7 ついたて B 上の十字像の水平部分の長さ $P'Q'$ を測定する。
 - 8 6, 7 の動作をくりかえす。
 - 9 $a = x_2 \sim x_1$, $b = x_3 \sim x_2$ で、 a , b が求められる。
レンズの式 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ から $f = \frac{ab}{a+b}$ によって凸レンズの焦点距離を求める。
 - 10 a , b の関係をグラフに書け。また a と $D = x_3 \sim x_1$ の関係をグラフに書け。
 - 11 倍率 $\frac{b}{a}$ を計算し、実測による倍率 $m' = \frac{P'Q'}{PQ}$ と比較せよ。 a と m' の関係をグラフに書け。
- ・ 薄い凹レンズの焦点距離を測定するには凸レンズと組み合わせて全体として凸レンズのはたらきをさせ、上と同様に x_1 , x_2 , x_3 をよみとればよい。その理由を考えよ。

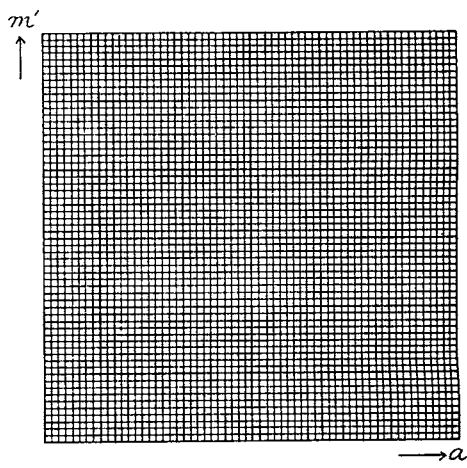
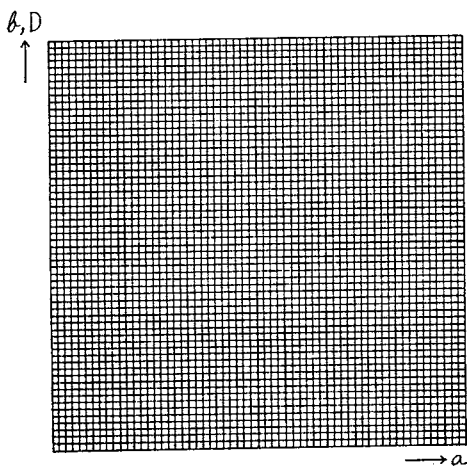


測定値と整理

は実測値

PQ=

	x_1	x_2	x_3	$a = x_2 \sim x_1$	$b = x_3 \sim x_2$	$D = x_3 \sim x_1$	$f = \frac{a \cdot b}{a + b}$	$m = \frac{b}{a}$	$P'Q'$	$m_1 = \frac{P'Q'}{PQ}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
平均										



月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 E Borda の振り子による重力加速度の測定

目的

重力加速度 g を測定する。

準備

Borda の振り子 (1), ノギス (1), 物指 (1)

原理

Borda の振り子の周期 T は次式で与えられる。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh}} \quad \begin{array}{ll} M: \text{剛体の質量} & h: \text{支点と重心の距離} \\ I: \text{慣性率} & g: \text{重力加速度} \end{array}$$

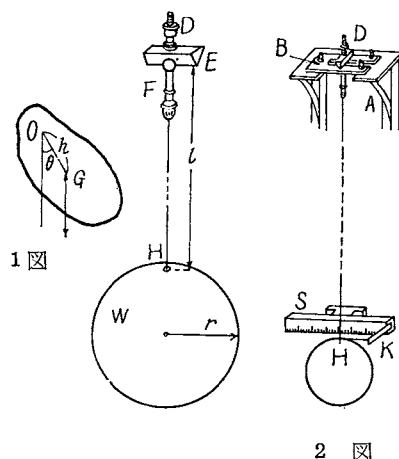
$$\therefore g = \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{I}{Mh} \quad r: \text{球の半径}$$

$$\text{また } h = l + r \quad I = M(l+r)^2 + M \cdot \frac{2}{5} r^2$$

$$\therefore g = \frac{4\pi^2}{T^2} \left\{ (l+r) + \frac{2}{5} \cdot \frac{r^2}{l+r} \right\}$$

実験

- 1 球のおもり W に長さ l (約 100cm) の細い針金をつけ、これを刃型 E の下に取付け、V字型平台 B にのせる。
- 2 10回振らせて周期 T を測定する。
- 3 F をゆるめて針金をはずし、刃型 DEF だけ 10回振らせて周期 T' を求める。
- 4 $T = T'$ になるよう D および l を調節する。
($T = T'$ にする理由を考えよ)
- 5 球のおもりを壁の面に平行になるようにふるせる。針金と鉛直線のなす角を 3° 以内に作る。
- 6 周期を10回毎に記録し 190回まで測定する。
- 7 l を物指で r をノギスで測定する。



2 図

測定値と整理

準備実験	
振子の10周期	双型の10周期

$l =$

cm

$r =$

cm

$l+r =$

cm

$\frac{2}{5} \cdot \frac{r^2}{l+r} =$

cm

周期 T の測定				
回	時刻 t_1	回	時刻 t_2	$100T = t_2 - t_1$ (sec)
0		100		
10		110		
20		120		
30		130		
40		140		
50		150		
60		160		
70		170		
80		180		
90		190		
			100 T 平均	sec

$g = \frac{4\pi^2}{T^2} \left\{ (l+r) + \frac{2}{5} \cdot \frac{r^2}{l+r} \right\} =$

$\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$

- Borda の振り子を単振り子として使用した場合の、 g を求める式を書け。

• 周期を求めるのに $t_{10}-t_0$, $t_{20}-t_{10}$ として平均した場合の周期と上記の場合の周期とはどのような相違があるか。

月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 1 ばねの弾性定数とばね振り子の周期の測定

目 的

ばねの弾性定数とばね振り子の周期を測定し、おもりの質量と弾性定数の関係を知る。

準 備

ジョリーのばねばかり (1), 物理てんびん (1), 分銅, 時計 (1)

原 理

ばねに外力 f を加えて l のびてつりあったとすれば、弾性限界内で次の式が成り立つ。

$$f = kl \quad (\text{フックの法則}) \quad (1)$$

k : 弾性定数

またつりあいの位置から x 引き伸ばされたば

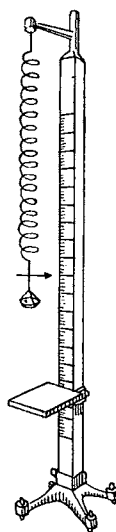
ね振り子の運動方程式は

$$a = -\frac{k}{m}x \quad \text{で単振動する}$$

a : 加速度, m : 質量

角速度を ω , 周期を T とすれば

$$\frac{k}{m} = \omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$
$$\therefore T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2)$$



実 験

【I】ばねの弾性定数の測定

- 1 受皿の質量 m_0 を物理てんびんで測れ。
- 2 ばねと尺度が鉛直平行なるようにする。
- 3 受け皿をつけないでばねの自然の長さ l_0 をよむ。針先とその像が重って見える位置に目をおいて読む。
- 4 受け皿をつけ、一定質量ずつ分銅 M を加え、そのつど目盛 l をよむ。分銅を加減するとき、皿を手で支える。
- 5 $l - l_0$ と $m_0 + M$ の関係をグラフに書き k を求める。

【II】ばね振り子の周期の測定

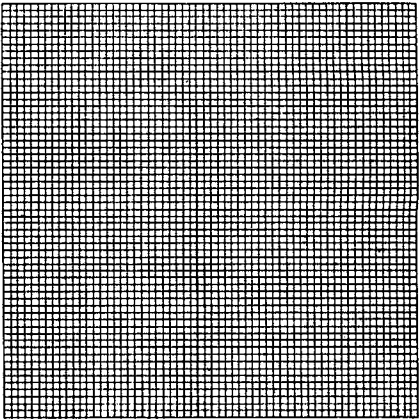
- 1 受皿に適当な分銅をのせ、小さい振巾で振動させる。
- 2 一定回数だけ振動する時間を 3 回測り周期を求める。
- 3 おもりをかえて同じことをくりかえし周期を求める。

測定値と整理

【Ⅰ】 弾性定数 k の測定

$m_0 =$ g_w $l_0 =$ cm

おもり M	外力 $f = (m_0 + M)g_w$	ものさしの 読み l cm	のび $(l - l_0)$ cm



• グラフに書き k を求めよ。
 $k =$ $g_w / \text{cm} =$ dyn/cm

【Ⅱ】 はね振り子の周期の測定

振動回数 = c

おもりの質量 $m = m_0 + M$ g				
時 間 sec	1 回			
	2 回			
	3 回			
	平均			
周期 T sec/c				

• 実測の m と k を用い式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ より求まる周期 T_0 と実測値の誤差百分率を求めよ。

$$\frac{T - T_0}{T_0} \times 100 =$$

月 日 天候 °C mmHg %

年	組	番	グループ	氏名
---	---	---	------	----

実験 2 気柱の共鳴による音さの振動数の測定

目 的

気柱の共鳴を利用して音さの振動数を測定する。

準 備

ビニール管付き板（直径約 3.5 cm, 1 m）(1), 棒付き反射板 (1), 温度計 (1), 音さ, 木槌 (1)

原 理

共鳴音の大きく聞える場所を l_1 , l_2 とすれば

定常波の波長 λ は

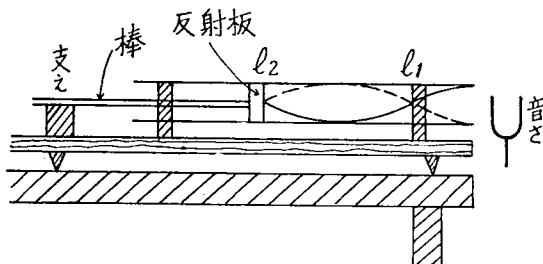
$$\lambda = 2(l_2 - l_1) \quad (\text{cm})$$

測定中の温度を t とすれば音 v では

$$v = 331 + 0.6t \quad (\text{m/sec})$$

音さの振動数 f は

$$f = \frac{v \times 100}{2(l_2 - l_1)} \quad (\text{c/sec})$$



実 験

- 1 図のように机上に配置する。
- 2 管内の温度 t_1 を測定する。
- 3 音さを木槌でかるくたたいて、棒を管口付近から次第にさげていき、共鳴音のもっとも大きい位置をさがす。管についているグラフ用紙の目盛で l_1 をよむ。
- 4 さらに棒を下げて、再びもっとも大きい共鳴音の聞える位置 l_2 をグラフ用紙の目盛でよむ。
- 5 同じことをくりかえし10回測定する。
- 6 測定後管内の温度 t_2 を測定する。

測定値と整理

温 度		回 数	第 1 共 鳴 点 l_1	第 2 共 鳴 点 l_2	$l_2 - l_1$
はじめ t_1	°C	1			
おわり t_2	°C	2			
平 均 t	°C	3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			
平 均					

定常波の波長 $\lambda = 2(l_2 - l_1) =$ cm

音 速 $v = 331 + 0.6t =$ m/sec

音 さ の 振 動 $f = \frac{v \times 100}{2(l_2 - l_1)} =$ c/sec

- 普通気柱の共鳴には反射板のかわりに水を入れて使用する。時間があればこの装置で音さの振動数を測定してみよ。
- 管口から第1共鳴点までの距 l_1 を4倍したら波長にならない。そのわけはどうか調べてみよ。

月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 3 光のてこによる薄板の厚さの測定

目 的

光のてこの原理を理解し、薄板の厚さを測定する。

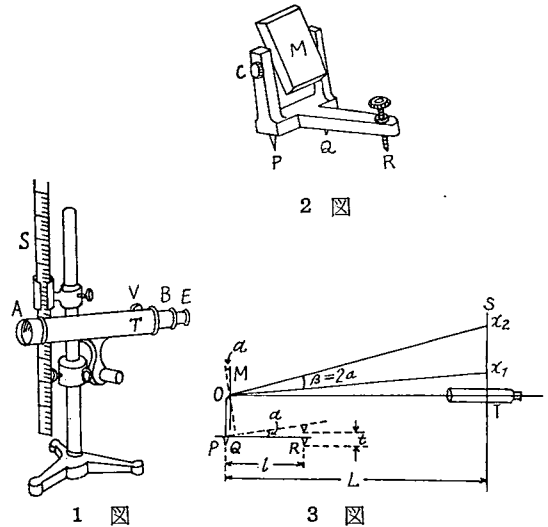
準 備

オプチカルレバー (1), 尺度付望遠鏡 (1), ノギス (1), 巻尺 (1), 薄板

原 理

オプチカルレバーを平面台上におき、望遠鏡 T の視野の中に尺度 S の鏡 M によって生ずる虚像が見えるようにし、十字線の横線と一致する示度を x_1 、平面と脚 R の間に薄板をはさんだとき、T の横線の指度 x_2 とする。尺度 S とオプチカルレバー間の距離を L、脚 PQ と R の距離を l 、薄板の厚さ d 、M の回転角を α とすれば

$$\begin{aligned}\angle x_2 O x_1 &= \beta = 2\alpha \approx \frac{x_2 - x_1}{L} \\ \therefore L &\gg x_2 - x_1 \\ \therefore d &= l\alpha = l \frac{x_2 - x_1}{2L}\end{aligned}$$



実 験

- 1 オプチカルレバーを白紙上におき、軽く圧力を加え P, Q, R の跡をつけ PQ と R の距離を測る。
- 2 オプチカルレバー M を平面台上にのせ 2 m ~ 3 m 離れて望遠鏡 T を置く。M の面と T の視軸は直交するようにおく。
- 3 望遠鏡 T を A, E, B の順に調節し、十字線とオプチカルレバーと T との距離の 2 倍のところの物体の像が明瞭に見えるようにする。
- 4 オプチカルレバーの鏡をつまみ C を回して変えたり、ねじ R を動かし反射光が T に入るようにし、それから T をのぞき、ねじ V を調節して、尺度 S の像と十字線が共に明瞭に見えるようにし、十字線の横線と S の像の目盛の一致した目盛 x_1 を読む。
・ T を通して S の像が見えるように調節するには最初は時間がかかる。手ぎわよくできるようになるまでには練習しなくてはならない。
- 5 P, Q が動かないように軽く押え、平面台と R との間に薄板を入れ、T の視野中の十字線と横線と一致する目盛 x_2 をよむ。
- 6 薄板をとり O と尺度 S の距離をはかる。
- 7 薄板の測定場所を変えて 5 回測定し平均をとれ。

測定値と整理

回	x_1 cm	x_2 cm	$x_1 - x_2$ cm	L cm	l cm	d cm
1						
2						
3						
4						
5						
平均の厚さ $d =$						

- ・マイクロメーターで同じ薄板を測定してみよ。

$d' =$

- ・光のてこの方法は微少なび, たわみ, 電流の測定に使われる。それらの装置の概略を考案してみよ。

月	日	天候	°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 4 回折格子の製作と回折格子の定数の測定

目 的

自作回折格子を利用して格子定数を測定する。

回折格子のつくり方

- 1 図のように白紙にカラス口で200本位平行線を引く。
- 2 これを複写用フィルムでやや露出過度に撮影し現像する。

準 備

自作回折格子 (1), 分光計 (1), Na ランプ

原 理

1 cm に n 本あて引いてある自作回折格子 G に垂直に波長 λ の平行光束を投射し, 入射方向と角度 θ 方向の干渉を考えると光行差

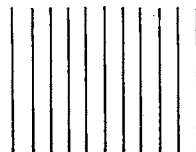
$d \sin \theta = m \lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots, m$ をスペクトルの次数という) の関係が成立するとき明くなる。

回折格子の格子定数を d とすれば

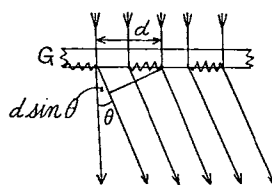
$$d = \frac{1}{n} \quad \text{となる。}$$

実 験

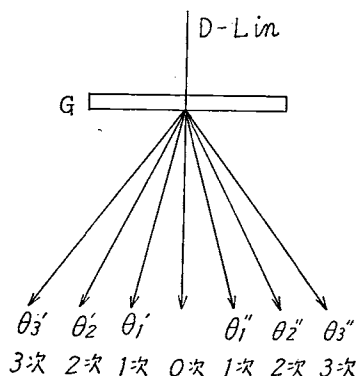
- 1 望遠鏡 T を無限遠に合わせ, ユリメーター C より出る光を平行光束にし, 回折格子 G を光軸に垂直に立てる。
- 2 Na ランプでスリット S を照らすと T の視野の中に 3 図のように, 中央に 0 次のスペクトル, 両側に 1 次, 2 次, 3 次の黄色い線スペクトルが見える。 T を回転して一次スペクトルと T の十字線をあわせて θ_1', θ_1'' を読む。(副尺に注意!) 以下同様にして θ_2', θ_2'' を測定し d を求めよ。廻転角は副尺を虫めがね E で正しく読む。
- 3 スリットの中は調節してあるからさわりなくてよい。



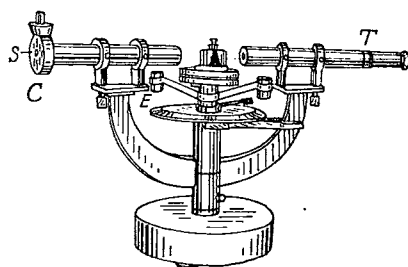
1 図



2 図



3 図



4 図

測定値と整理

Na の D 線の波長 $\lambda = 5893 \text{ \AA} = 5.893 \times 10^{-5} \text{ cm}$

スペクトルの 次数 (m)	1	2
角 度	$\theta_1' =$ $\theta_1'' =$	$\theta_2' =$ $\theta_2'' =$
1 cm 当りの 平行線の数 $n = \frac{\sin \theta_m}{m \cdot \lambda}$	$2\theta_1 =$ $\theta_1 =$ $n_1 = \frac{\sin \theta_1}{5.893 \times 10^{-5}}$ =	$2\theta_2 =$ $\theta_2 =$ $n_2 = \frac{\sin \theta_2}{5.893 \times 10^{-5}}$ =

$$n = \frac{1}{2} (n_1 + n_2) =$$

$$d = \frac{1}{n} =$$

- 回折格子を通して白色電球をみてみよ。どのようなスペクトルが観測できるか図示し、その理由を考えよ。
- 回折格子を二枚平行に並らべ 1 枚を回転すると回折縞の変化が見られる。このことから直交回折格子、斜交回折格子が考えられる。製作してみたらどうだろうか。
- 格子定数を顕微鏡でマイクロメーターを使って測定できる。試みてみよ。

月	日	天候	°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 5 Wheatstone Bridge による電気抵抗の測定

目 的

P.O. 型抵抗箱により針金の電気抵抗を測定し、針金の比抵抗を求める。

準 備

P.O. 型抵抗箱 (1), 乾電池 (1), 検流計 (1), ショント (ニッケル線 10cm) 物指 (1), マイクロメーター (1), 抵抗線 (1), 電球 (1), 導線

原 理

1 図において検流計 G を流れる電流 $i_g = 0$ ならば

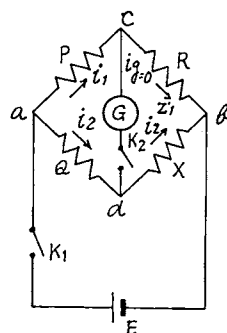
$$Pi_1 = Qi_2$$

$$Ri_1 = Xi_2$$

$$\therefore RQ = PX \quad X = \frac{Q}{P} R (\Omega) \dots\dots (1)$$

長さ l 断面積 S の針金の抵抗が X なら比抵抗 ρ は

$$X = \rho \frac{l}{S} \quad \rho = \frac{XS}{l} \text{ (ohm cm)} \quad (2)$$

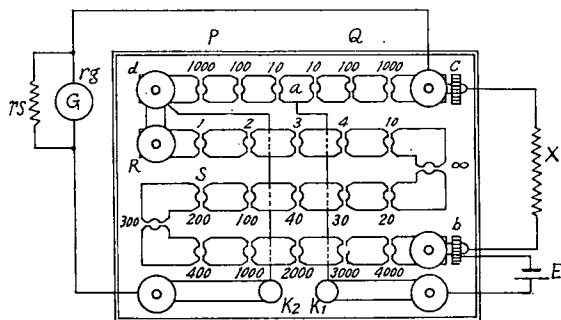


1 図

実 験

- 1, 2 図のところの X に白熱電球 100 V 100 W を先ずつなげ。配線に誤りのないようにせよ。
- 2 P, Q の線を 1000Ω ずつ抜き、他の栓は全部入れたまま、 K_1 を閉じ、つぎにかかる K_2 を押してすぐ放せ。指針は右にふれるであろう。
- 3 つぎに P, Q は 1000Ω を抜いたままで R 内の ∞ (INF) の栓だけ抜き、 K_1 を閉じ、 K_2 を軽く押してすぐ放せ。指針は左にふれる。求むる抵抗は 0 と ∞ の間にあることを示す。
- 4 つぎに ∞ の栓をさし、 R の 10Ω の栓をぬいて、 K_1, K_2 を軽く押す、指針は左にゆっくりふれる。 X は 10Ω より小さいことを示す。
- 5 10Ω の栓をさし 4Ω と 3Ω の栓を抜いてみよ。 G のふれがほぼ 0 となる。 $100\text{ V} - 100\text{ W}$ の電球の抵抗 X の略値は

$$X = \frac{1000}{1000} \times 8 = 8 \Omega$$



2 図

- 6 X の値をさらにくわしく求めるために $P=1000\Omega$ $Q=100\Omega$ だけ抜き, R を79 抜くと G のふれはほぼ 0 となる。

$$X = \frac{100}{1000} \times 79 = 7.9\Omega$$

- 7 X の値をさらにくわしく求めるためには $P=1000\Omega$ $Q=10\Omega$ だけぬき, R を 789 抜くと G のふれはほぼ 0 となる。

$$X = \frac{10}{1000} \times 789 = 7.89\Omega$$

- 8 与えられた抵抗線の抵抗を上の順序に従って求めてみよ。

測定値と整理

針金の比抵抗の測定

$$\frac{Q}{P} = \frac{100}{1000} \times \quad = \quad (\Omega)$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{100}{1000} \times \quad = \quad (\Omega)$$

$$X = \frac{Q}{P} = \frac{10}{1000} \times \quad = \quad (\Omega)$$

針金の長さ $l =$ (cm)

針金の直径 $d =$ (cm)

針金の半径 $r = \frac{d}{2} =$ (cm)

$$\therefore \text{針金の比抵抗 } \rho = \frac{XS}{l} = \frac{X\pi r^2}{l} =$$

- 抵抗をもっとくわしく測定するにはどうすればよいか。

月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 6 電流による熱の仕事当量の測定

目 的

電流による発熱量を測定し、熱の仕事当量 J を測定する。

準 備

水熱量計 (1), 交流電源 (1), 交流電流計 (1), 交流電圧計 (1), 温度計 (0.1度目盛) (1), 物理てんびん (1), スライド抵抗器 (1), メスシリンダー (1)

原 理

抵抗 R (Ω) の導線の両端に電圧 V (v) をかけたとき。流れる電流を i (A) とし時間 t (sec) に消費した電気エネルギーが全部熱エネルギーに変わったとすれば、発生熱量 Q (cal) は

$$Q = \frac{1}{J} Vit = \frac{1}{J} Ri^2 t \quad (1)$$

発生熱量を水熱量計で測定すれば、熱量計の水当量を $c_1 m_1$ (g),

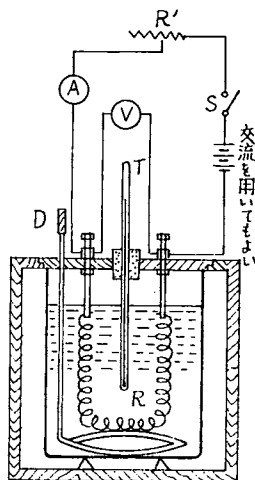
水の質量を m (g), 温度差を $\Delta\theta$ °C とすれば

$$Q = (c_1 m_1 + m) \Delta\theta \quad (2)$$

$$(1) (2) \text{ より } J = \frac{Vit}{(c_1 m_1 + m) \Delta\theta} \text{ (Joule/cal)}$$

実 験

- 1 熱量計の金属容器とかく拌器の質量 m_1 を物理てんびんで測り、水当量 $c_1 m_1$ を計算する。 c_1 は比熱である。 $Cu \cdots 0.092 \text{ cal/g.deg}$, $Fe \cdots 0.10 \text{ cal/g.deg}$, しんちゅう $\cdots 0.094 \text{ cal/g.deg}$
- 2 容器にニクロム線が全部つかる程度に、メスシリンダーでおよその水の量を測って入れ、全体の質量 m_2 をてんびんで測る。水の質量 $m = m_2 - m_1$ となる。
- 3 図のように配線する。電流計を直列に、電圧計を並列にする。
- 4 スイッチ S を入れて直ぐ開き指針が振り切れぬように R' を調節し、1 A 程度流れるようにする。
- 5 かく拌器 D を動かし水温を一様にし、一定温度になったときの温度計 T の指度 θ_1 をよみとる。
- 6 時計で時間 t を測る用意をし、スイッチ S を入れたらかく拌しながら1分ごとに時間、水温をよむ。 T の指度 θ_2 が、 θ_1 と室温 θ_0 の差と等しい所位で S を切る。電圧電流はスライド抵抗器で一定に保つ。
- 7 スイッチをきった後もしばらく温度計を見ながらかく拌をつづけ最高温度を θ_2 とする。



測定値と整理

容器とかくはん棒の質量 $m_1 =$ (g)
 水当量 $c_1 m_1 =$ (g)
 全体の質量 $m_2 =$ (g)
 水の質量 $m = m_2 - m_1 =$ (g)
 $c_1 m_1 + m =$
 室温 $\theta_0 =$ (°C)
 初めの水温 $\theta_1 =$ (°C)
 終りの水温 $\theta_2 =$ (°C)
 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 =$ (°C)
 電圧 $V =$ (v)
 電流 $i =$ (A)
 電流を流した時間 $t =$ (sec)

時 間 (分)	水 温 (°C)

$$J = \frac{Vit}{(c_1 m_1 + m) \Delta\theta} =$$

$$= \frac{\text{Joule}}{\text{cal}}$$

- 全波脈流電源を用いたときは可動線輪型の直流計器ならば指示値に実効値と平均値の比 1.11 をかける。
- 熱量計の水当量を求めるとき、温度計は除外してあるが、温度計をふくめた水当量の求め方はないだろうか。

月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 7 電池の起電力と内部抵抗の測定

目 的

電池の端子電圧と、電流との関係を測定し、これによって電池の起電力 (E) と内部抵抗 r を求める。

準 備

乾電池 (2 種類), 直流電圧計 (1), 直流電流計 (1), スライド抵抗器 (1), スイッチ (1), 導線

原 理

E : 乾電池の起電力

R : 抵 抗

I : 電 流

r : 内部抵抗

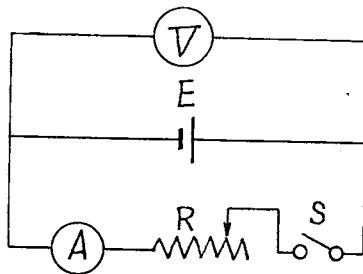
V : 乾電池の端子電圧

$$E = I(R + r) = V + Ir \quad \therefore V = E - Ir$$

乾電池から電流が引き出されないときの端子電圧は起電力である。

実 験

- 1 スライド抵抗器 R は接続しようとする端子間の抵抗を最大にしておく。
- 2 直流電圧計 V , 直流電流計 A , スライド抵抗器 R , スイッチ S は開いたまま右図のように配線する。
- 3 スイッチを開いたままで電圧を読む。
- 4 抵抗 R を少し小さくしスイッチを閉じ, 電流電圧を読みとってスイッチを開く, この操作を繰り返す。



- 指針のふれすぎのとき, とるべき方法は
 - イ 抵抗 R を減らすことを止める。
 - ロ 電流計の 100mA 端子を 1 A 端子につけかえる。
 - スイッチを閉じ, 手早く指針の値を読みとる。長時間大きい電流を流すと起電力が 測定の前後で大きく変る。
- 5 おわりにもう一度スイッチを開いているときの電圧を読む。
 - 6 電池 E_1 を E_2 に取り換えて同じ作業を繰り返す。
 - 7 電池を流れる電流 i を横軸, 端子電圧 V を縦軸にとってグラフを書け。

測定値と整理

E₁ の 測 定

回 数	測定前S を開いて あるとき	測 定										測定後S を開いて あるとき
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I ₁ (MA)												
V ₁ (V)												

I₁ = 0 に対する V₁ の値，すなわち電池の起電力をグラフから求めよ。

E₁ =

グラフ中の 2 座標 (I₁₁ V₁₁) (I₁₂ V₁₂) より内部抵抗 r₁ を求める。

r₁ = $\frac{V_{12} - V_{11}}{I_{12} - I_{11}}$ =

E₂ の 測 定

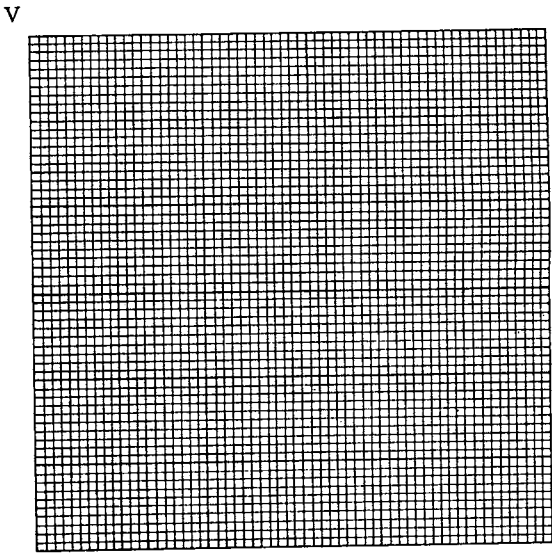
回 数	測定前S を開いて あるとき	測 定										測定後S を開いて あるとき
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I ₂ (MA)												
V ₂ (V)												

i₂ = 0 の V₂ の値（起電力 E₂）を求めよ。

E₂ =

内部抵抗 r₂ = $\frac{V_{22} - V_{21}}{I_{22} - I_{21}}$ =

- 乾電池の両極をショートさせた瞬間流れる電流を起電力，内部抵抗の測定値より求めてみよう。



月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 8 白熱電球の抵抗と端子電圧の測定

目 的

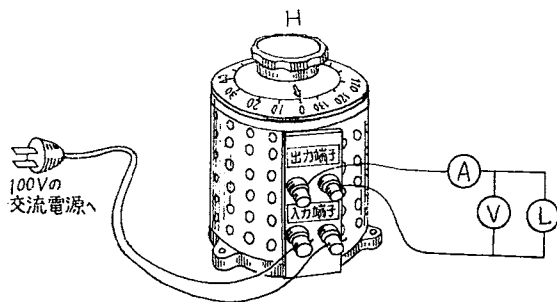
電球の $V-I$ 曲線, $V-R$ 曲線を求める。

準 備

スライダック (1), 交流変電計 (1), 交流電流計 (1), 電球 (4), 導線

実 験

- 1 図のように配線し, つまみ H をまわして出力側の電圧を 0 V にしておく。
- 2 100 V 電源につなぎ, H を回し電球にかかる電圧を 0 V より順次増加して行き, そのつど, 電流と電圧を読みとる。電圧の小さいところを数多く測定する。



- 100 V 用の電球には 100 以上, 110 V 用には 110 V 以上の重圧をかけない。
- 電流が一定になってから電圧を読みとる。

測定値と整理

$$V \quad \quad W$$

V	I	$R = \frac{V}{I}$	$P = VI$

$$V - W$$

V	I	$R = \frac{V}{I}$	$P = VI$

--	--	--	--

--	--	--	--	--

- 電球について余白に V—I, V—R 曲線を書け。
- 抵抗の温度係数についてどんなことがいえるか。

月 日 天候			°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験 9 交流の周波数測定

目的

弦の定常波を利用して、交流の周波数を測定する。

準備

滑車取付台 (1), 銅板をつけたくさび (2), スライド抵抗器 (1), スライダック (1), U字型磁石 (1), 物理てんびん (1), 1 m物さし (1), 銅線(直径 0.2 mm位), 受皿 (1), 分銅

原理

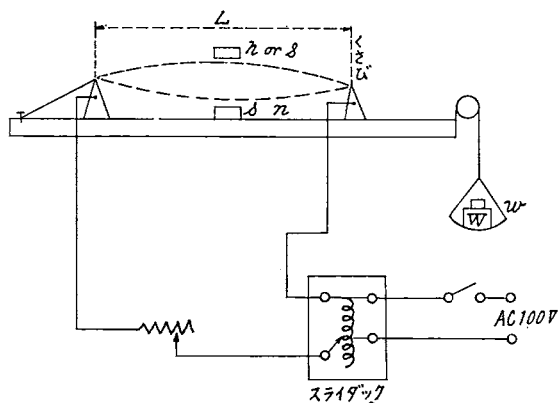
磁界の中に交流をながすと、フレミングの左手の法則にしたがって交互に反対向きの力を受け、導線が振動して定常波を生ずる。このとき導線の固有振動数と交流の振動数が一致すれば共振をおこしてよく振動する。

L : 弦の長さ T : 張力

ρ : 線密度 n : 定常波の腹の数

f : 振動数

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$



実験

- 1 銅線の線密度 ρ を求めるため、銅線の長さ l とその質量 m を測る。
- 2 おもりの受皿の重さ w を測る。
- 3 図のように配線し、電圧、抵抗を加減して、電流が 2 A 位流れるようにする。
- 4 おもり 20 g 前後をのせ、磁石を入れ弦の長さを 0.7 m 位にしてスイッチを用いる。
- 5 弦の長さを調節したり、おもりを加減すると定常波ができる。振巾の大きい定常波をつくる。
- 6 振巾の大きい定常波ができたなら、腹の数 n を数え、長さ L を測り、おもりの重さ w を測る。
- 7 弦の長さ、おもりの重さをいろいろ変えて、同様の実験をくりかえせ。

測定値と整理

回	線 密 度			張 力				弦 の	腹 の	振 動
	m (g)	l (cm)	ρ (g/cm)	w (gw)	W (gw)	張 力		長 さ L (cm)	数 n	数 f (c/sec)
						$w+W$ (gw)	T (dyn)			
1										
2										
3										
4										
5										
平 均										

振動数（周波数） $f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ に代入し計算し上記表中に書き、その平均を求めよ。

- 金沢地方の周波数はいくらであるか。

- 上記測定で得た値との誤差百分率はいくらか。

$$\text{誤差百分率} = \frac{f - (\text{金沢地方の周波数})}{(\text{金沢地方の周波数})} \times 100 =$$

- 交流の周波数を測定する別の方法はないか。

月	日	天候	°C	mmHg	%
年	組	番	グループ	氏名	

実験10 交流回路の抵抗の測定

目 的

コイル、コンデンサーを交流回路につなぎ、電流、電圧を測定し、交流回路のインピーダンス Z を測定し、インダクタンス L によるリアクタンス X_L およびコンデンサーによるリアクタンス X_C を測定する。

準 備

コイル（インダクタンス10H位、P. O. 抵抗箱で直流抵抗は測定してある。）(1)、コンデンサー（4～8 μF ）(1)、スライダック (1)、交流電圧計 (1)、交流電流計 (1)、直流抵抗（1K Ω 位）(1)、導線

原 理

- 1 直流抵抗 $R\Omega$ の両端に電圧 E_V を加えるととき流れる i_A とすれば

$$i = \frac{E}{Z} \quad Z: \text{インピーダンス } (\Omega)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad X_L: \text{インダクタンスによりリアクタンス } (\Omega)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad L: \text{コイルのインダクタンス (H)}$$

f : 周波数

- 2 コンデンサのみによるインピーダンス Z は

$$Z = X_C$$

X_C : コンデンサーによるリアクタンス

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

C : コンデンサーの容量 (F)

- 3 直流抵抗 r とコンデンサーの直列インピーダンス Z は

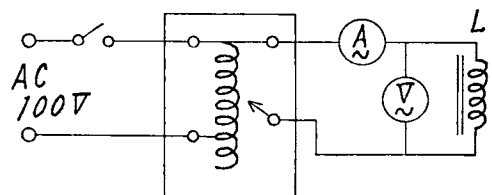
$$Z = \sqrt{r^2 + X_C^2}$$

実 験

【I】 インダクタンスによるリアクタンスの測定

- 1 図のように配線する。出力電圧は0にしておく。
- 2 スライダックで電圧を変えて、それぞれの電流を測定する。
- 3 測定が終われば、出力電圧を0にする。

・鉄心の一部をとりはづしてあるが、鉄心を上にのせ同じ実験を繰り返し、鉄心の作用を考えよ。



スライダック

1 図

測定値と整理

電圧 E V	電流 i A	インピーダンス $Z = E/i$ Ω	リアクタンス $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ Ω
平均 X_L			

コイルの直流抵抗
(P.O. 型抵抗器で測定)

$R =$

インダクタンス

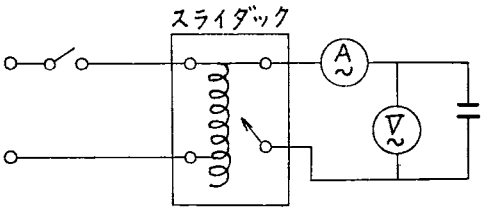
$L = \frac{X_L}{2\pi f} =$

【II】 コンデンサーによりリアクタンスの測定

1 2図のように配線し、出力電圧を変えて、それぞれの電流を測定する。

測定値と整理

電圧 E V	電流 i A	リアクタンス $X_C = E/i$ Ω
平均		



2 図

コンデンサーの

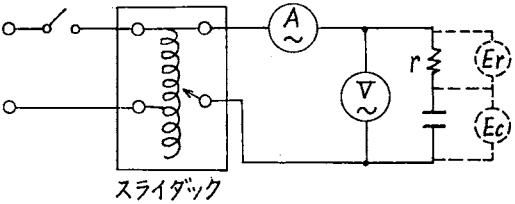
容量 $C = \frac{1}{2\pi f X_C} =$

【III】 直流抵抗とコンデンサーの直列インピーダンスの測定

- 1 3図のように配線し全電圧 E と電流 i を測定する。
- 2 スライダックの出力をそのままにして、 r 、 C の両端の電圧 E_r 、 E_C を測定する。
- 3 全電圧をかけて3回上記測定とせよ。

測定値と整理

全電圧 E V	電流 i A	r の再端の電圧 E_r V	C の両端の電圧 E_C V	C 、 r の直列インピーダンス $Z = E/i$ Ω
平均				



スライダック

3 図

・既知の抵抗 r と上記測定値 X_C より計算で求めてみよ。

$$Z = \sqrt{r^2 + X_C^2}$$

$$=$$

測定値の平均 Z と比較せよ。

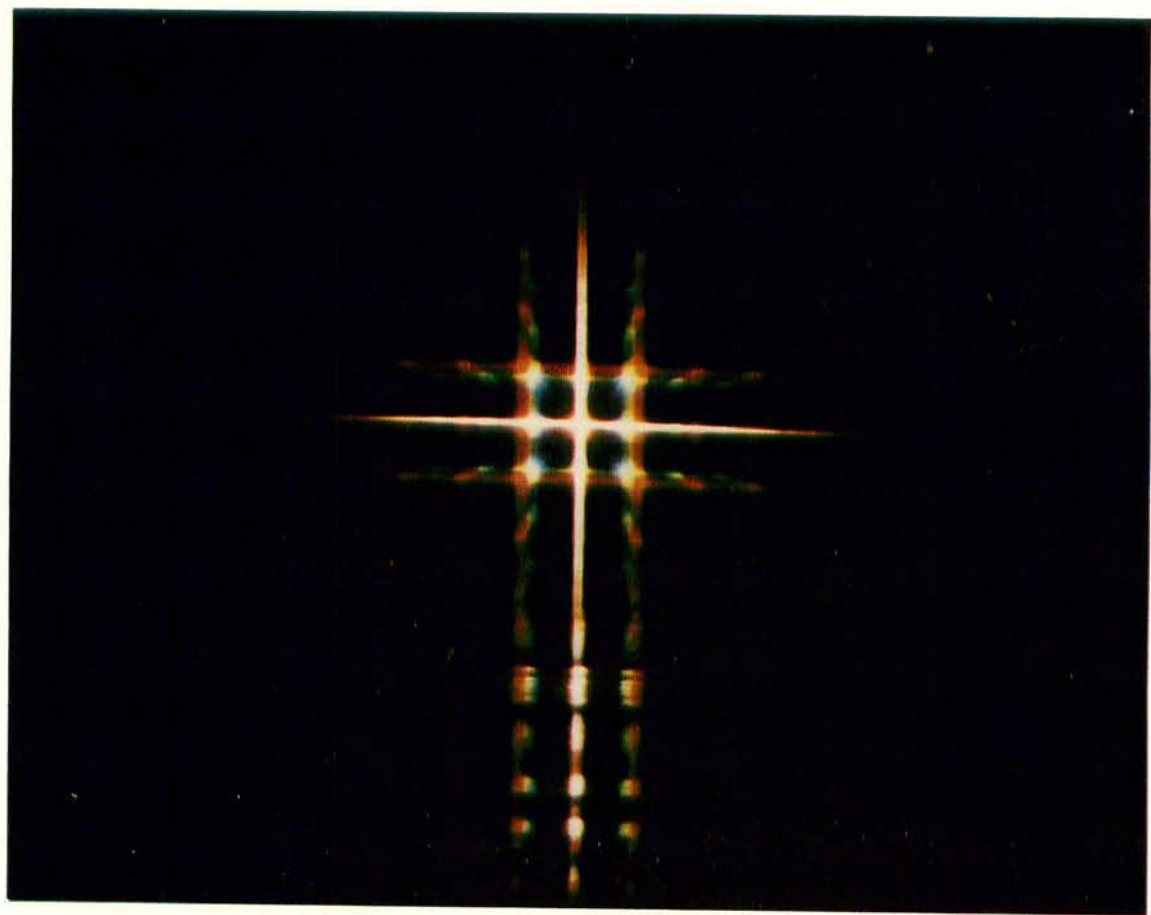
月 日 天候 °C mmHg %

年	組	番	グループ	氏名
---	---	---	------	----

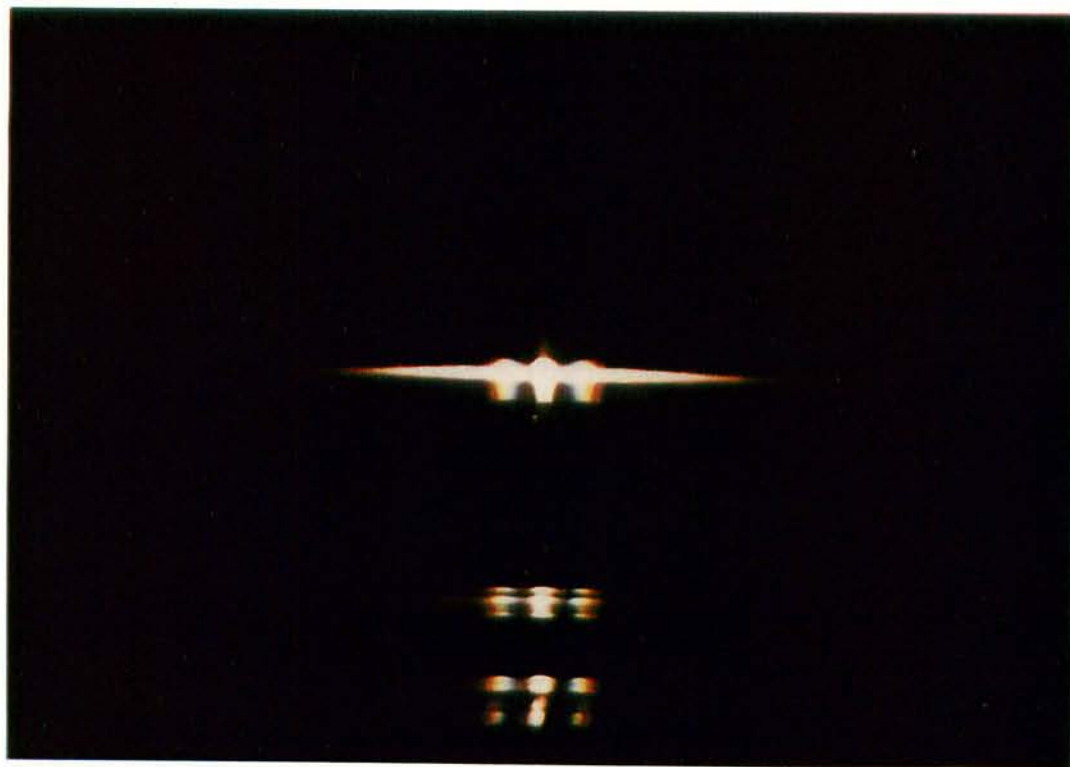
特 別 実 験

I. ブラックセットによる運動に関する実験

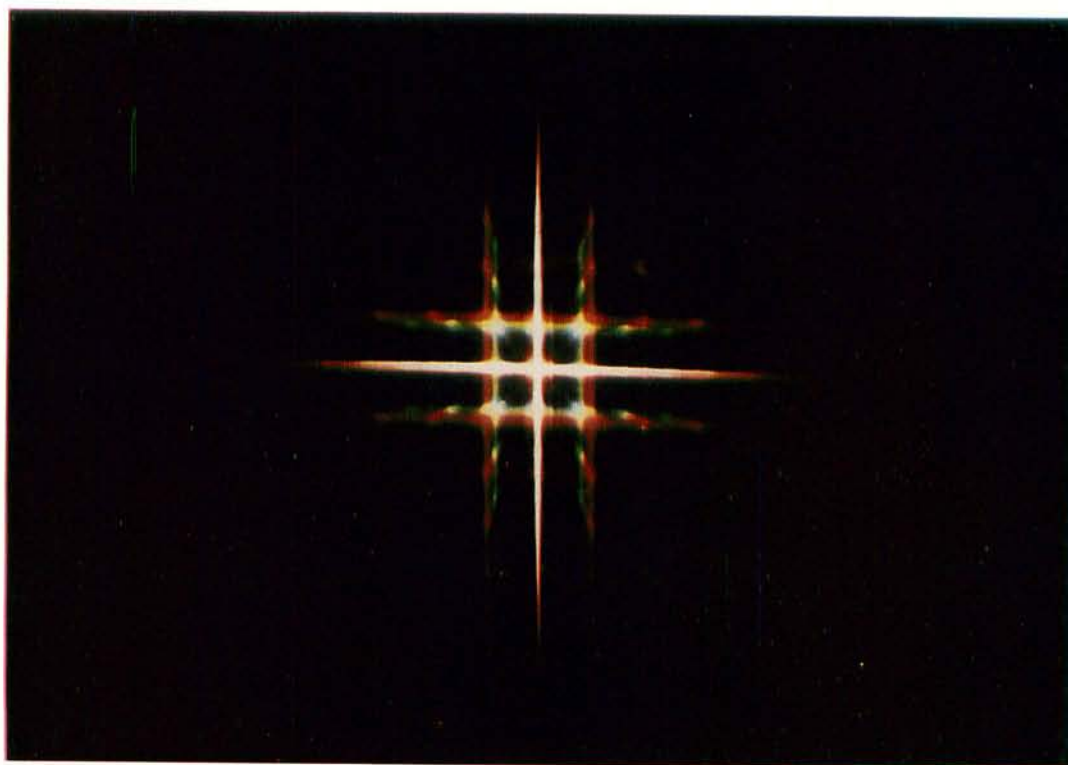
II. 波動装置による波動現象に関する実験



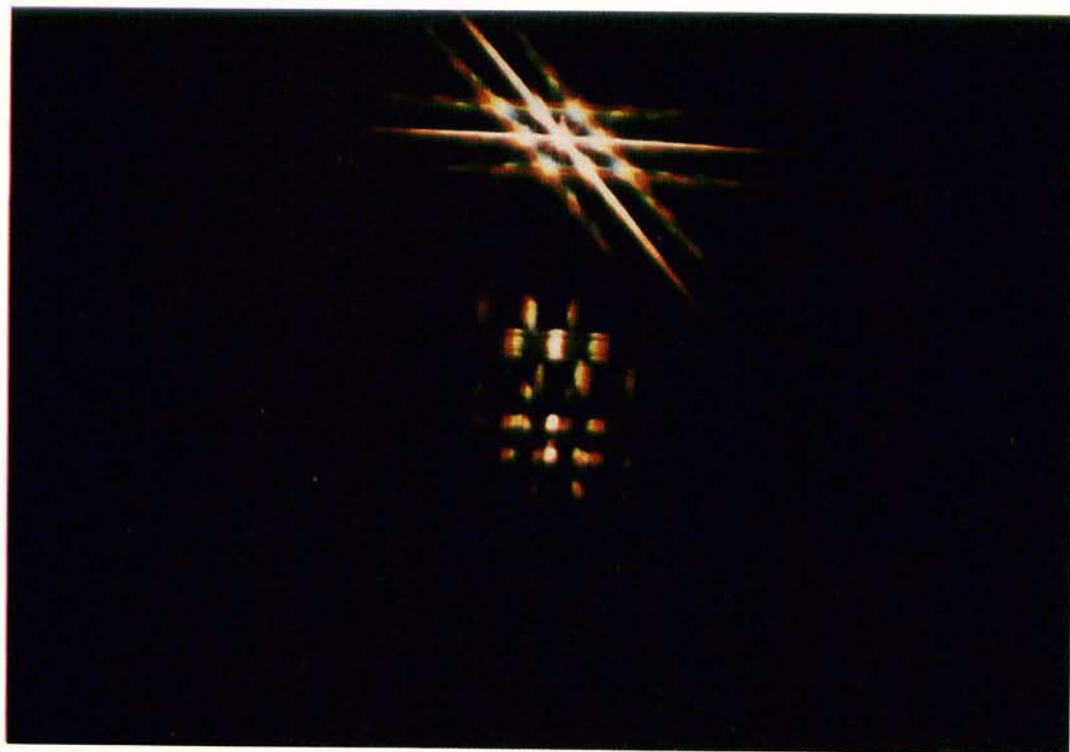
直交回折格子による回折縞 (100V—25W)



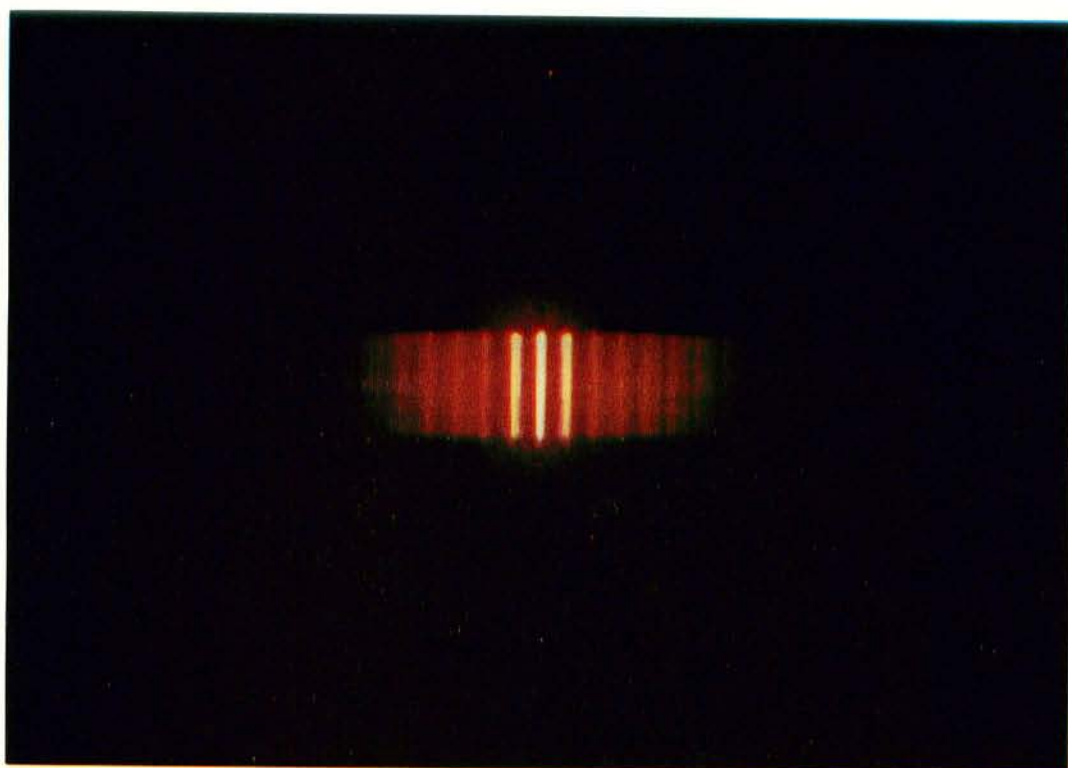
回折格子による回折縞 (100V—100W)



直交回折格子による回折縞 (100V—25W)

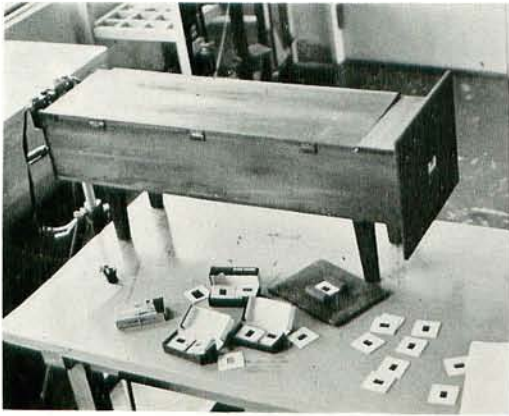


斜交回折格子による回折縞 (100V—25W)

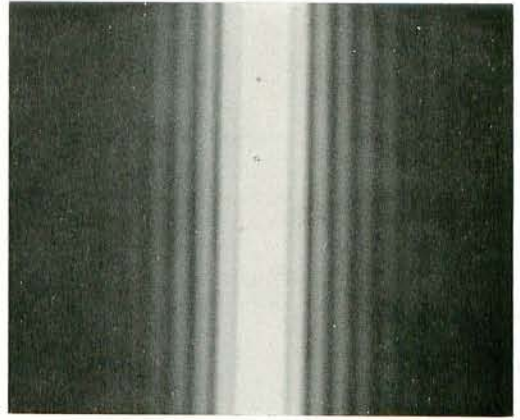


回折格子によるスリットの回折縞 (ナトリウムランプ)

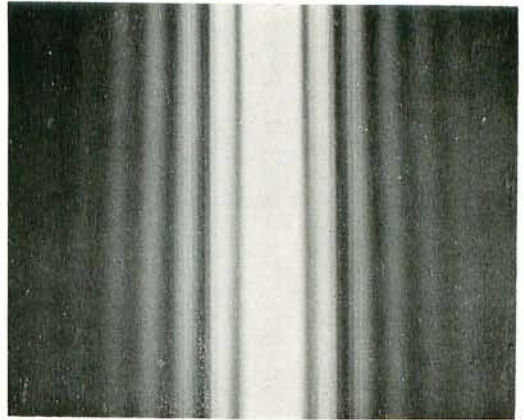
ハ モノスリット巾による回折干渉縞の変化



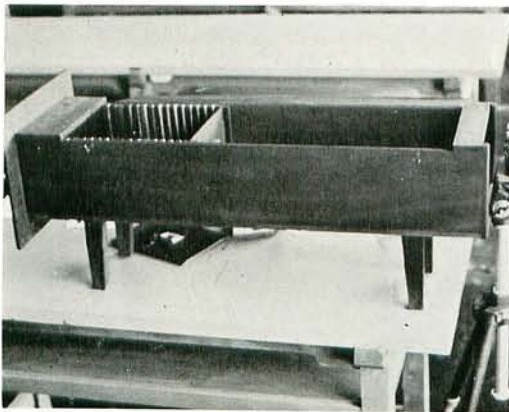
イ 暗箱装置



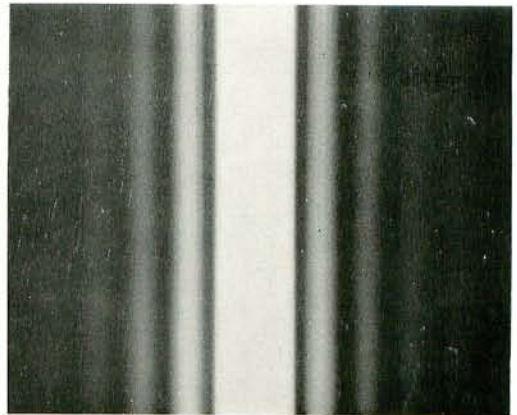
ハ—1 0.345 mm



ハ—2 0.226 mm

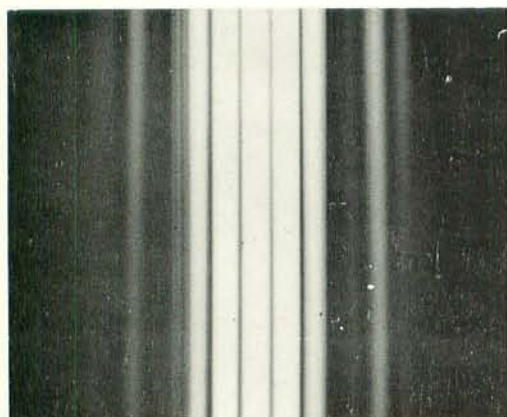


ロ 暗箱装置の内部



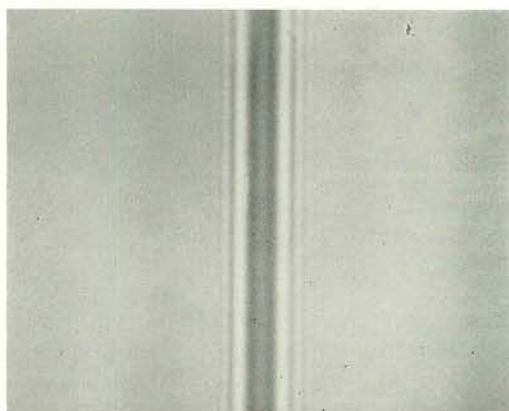
ハ—3 0.172 mm

ニ バイスリットによる3回折干渉縞

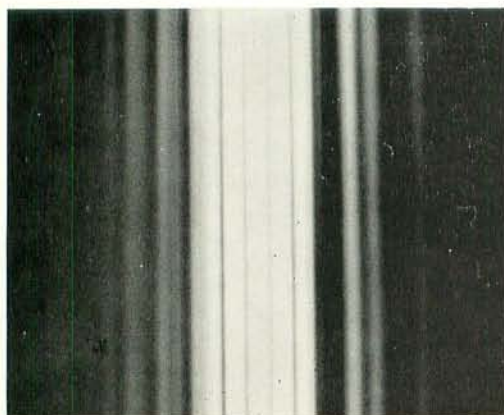


ニ-1 $d=0.332\text{mm}$

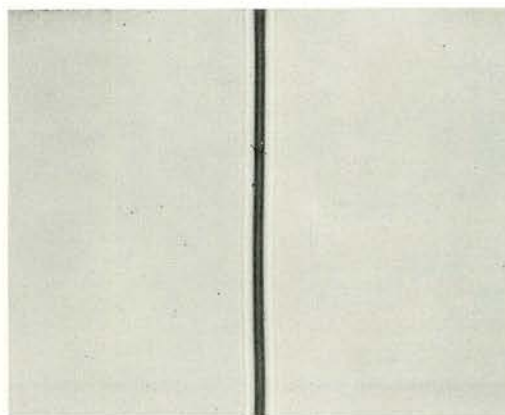
ホ 毛, 針針, カミソリの刃による回折干渉縞



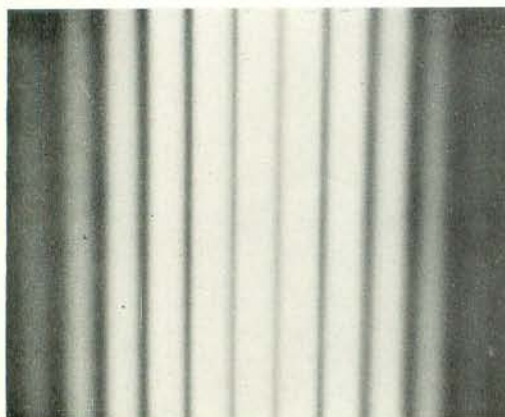
ホ-1 毛



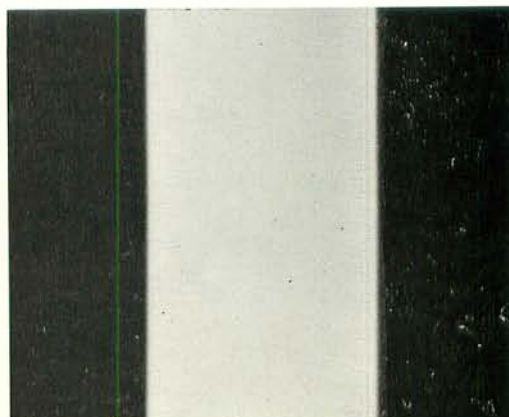
ニ-2 $d=0.252\text{mm}$



ホ-2 針 金



ニ-3 $d=0.187\text{mm}$



ホ-3 カミソリの刃